

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Konstrukce měřicí tratě s čerpadly

Construction of Measuring Track with
Pumps

Student: Martin Konderla
Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Kamil Kolarčík, CSc.

Ostrava 2011

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Konderla**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3907R004 Provoz a řízení v energetice
Téma: **Konstrukce měřicí tratě s čerpadly**
Construction of Measuring Track with Pumps

Zásady pro vypracování:

Tato bakalářská práce má přiblížit problematiku měření a provoz čerpadel v paralelním a sériovém zapojení. Měřicí trať se bude skládat ze dvou odstředivých radiálních čerpadel SIGMA 20-SVA-1-LM-90. Parametry čerpadel: $Q = 0,50 \text{ l/s}$, $Y = 108 \text{ J/kg}$, $n = 1450 \text{ min}^{-1}$. Motor: $P = 0,37 \text{ kW}$, $U = 380 \text{ V}$, $I = 1,16 \text{ A}$, $n = 1370 \text{ min}^{-1}$. Bakalářská práce musí obsahovat konstrukce měřicí trati sériové a paralelní spolupráce čerpadel v místnosti G 315, včetně popisu použitých měřicích přístrojů, výpočtu měřicí clonové tratě a způsobu měření rozhodujících energetických charakteristik. Dále pak výkresovou dokumentaci pro konstrukci této měřicí tratě.

Seznam doporučené odborné literatury:

Janalík, J., Štáva, P.: Mechanika tekutin. Skriptum VŠB-TU Ostrava, 2007, 126 s.
Janalík, J.: Hydraulické stroje a seřizování hydraulických sítí. Skriptum VŠB-TU Ostrava, 2007, 85 s.
Paciga, A.: Projektovanie a prevádzka čerpacej techniky. Alfa, 1990, 438 s. ISBN 80-05-00650-0.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Kamil Kolarčík, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 14.5.2011

Martin Konderla

Martin Konderla

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákony o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledky její obhajoby.

V Ostravě: 14.5.2011

Martin Konderla

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Martin Konderla

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Mlýnská 37 Jablunkov 73991

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Kamilu Kolarčíkovi, CSc. za odborné vedení mé práce.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KONDERLA, M. *Konstrukce měřicí tratě: bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2011, 38 stran.

Vedoucí práce: Kolarčík, K.

Předložená bakalářská práce popisuje návrh konstrukce měřicí tratě s čerpadly. Přibližuje problematiku měření a provozu čerpadel v paralelním a sériovém zapojení. V úvodní části je popis měřicí tratě, čerpadel a použitých měřicích přístrojů. Práce je zaměřena na návrh clonového kotouče a podrobný popis způsobu měření a tvorby energetických charakteristik čerpadel. Práce poukazuje na hlavní rozdíly, které se vyskytují ve výsledných energetických charakteristikách mezi paralelním a sériovým zapojením čerpadel. Navrhnutá měřicí trať s čerpadly je dokumentována v grafické příloze bakalářské práce.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KONDERLA, M. *Construction of Measuring Track with Pumps: Bachelor Thesis*. Ostrava : VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy, 2011, 38 p. Thesis head: Kolarčík, K.

A subject matter of the bachelor thesis is a description of a design of a measuring track with pumps. It acquaints with problems of measurement and operation of the pumps connected in parallel and in series. In an introductory part there is to be found description of the measurement tracks, the pumps and the measuring instruments. The paper focuses on the orifice plate design and the detailed description of the methods of measurement and production of the energy responses of the pumps. It shows the main differences present in the resulting energy responses between pumps connections in parallel and in series. The designed measuring track with the pumps is documented in a graphic attachment of the bachelor thesis.

OBSAH

Úvod	9
1. Měřicí trať	10
1.1. Popis měřicí tratě	10
1.2. Zapojení čerpadel v měřicí trati	10
2. Měření průtoku škrtkovými orgány	12
2.1. Clony	13
2.2. Dýzy	15
2.3. Venturiho trubice	16
2.4. Venturiho dýzy	16
3. Měření tlaku deformačními přístroji	17
3.1. Trubicové tlakoměry	17
3.2. Membránové tlakoměry	18
3.3. Vlnovcové tlakoměry	19
3.4. Krabicové tlakoměry	20
4. Hydrodynamická čerpadla	20
4.1. Čerpadlo radiální	21
5. Charakteristika čerpadla	23
5.1. Charakteristika paralelní spolupráce čerpadel	24
5.2. Charakteristika sériové spolupráce čerpadel	25
6. Navržení clonové tratě	26
6.1. Navržení clonového kotouče pro měřicí trať	26
6.2. Výpočet objemového průtoku	28
6.3. Požadavky na zabudování clony	28
7. Vytvoření energetických charakteristik	29
7.1. Výpočet energetických veličin	29
7.2. Vytváření charakteristik samostatného čerpadla	30
7.3. Vytváření charakteristik paralelní spolupráce	34
7.4. Vytváření charakteristik sériové spolupráce	34
8. Závěr	36
9. Seznam použité literatury	37
10. Seznam příloh	38

Seznam použitých značek a symbolů

d	Vnitřní průměr škrťacího orgánu	[m]
g	Gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
h	Výška	[m]
h _z	Ztrátová výška	[m]
n	Otáčky	[min ⁻¹]
p	Tlak	[Pa]
Δp	Diferenční tlak	[Pa]
u	Unášivá rychlost	[m.s ⁻¹]
v	Rychlost	[m.s ⁻¹]
y	Výškový rozdíl mezi manometry	[m]
C	Součinitel průtoku	[-]
D	Vnitřní průměr potrubí	[m]
H	Dopravní výška	[m]
I	Proud	[A]
P	Příkon	[W]
Q	Objemový průtok	[m ³ .s ⁻¹]
Ra	Drsnost	[μm]
Re _D	Reynoldsovo číslo vztažené k D	[-]
S	Plocha	[m ²]
U	Napětí	[V]
Y	Měrná energie	[J.kg ⁻¹]
α	Úhel	[°]
β	Poměr průměrů	[-]
ρ	Hustota	[kg.m ⁻³]
ε	Expanzní součinitel	[-]
η	Účinnost	[%]

ÚVOD

Tato bakalářská práce má navrhnout konstrukci měřicí tratě, která se bude využívat pro provozování čerpadel v paralelním a sériovém zapojení. Práce má přiblížit problematiku měření a provozu čerpadel v paralelním a sériovém zapojení. Obsahuje postup návrhu clonového kotouče, měřicí clonové tratě a způsob měření a vytváření energetických charakteristik čerpadel. Součástí této práce je stručný přehled měření škrtkovými orgány, popis měření tlaku deformačními přístroji a popis hydrodynamických čerpadel.

Zapojení čerpadel má vliv na výsledné energetické charakteristiky, především na množství dodávané kapaliny a její dopravní výšku. Paralelní spolupráce dvou a více čerpadel je běžná na mnoha čerpacích stanicích. Jejich dodávky vody jsou dány rozmanitostí odběru. Z toho vyplývající regulace čerpadel se provádí zejména na základě měření tlaku a průtoku. V této bakalářské práci se zabývám měřením průtoku pomocí škrtkového orgánu (clony) a následným vyhodnocením provozu čerpadel v paralelním a sériovém zapojení. I když se v poslední době používá měření ultrazvukem a indukční měření průtoku, tak měření škrtkovými orgány zvláště clon, má své stále zastoupení především z hlediska ekonomického.

1. MĚŘÍCÍ TRAŤ

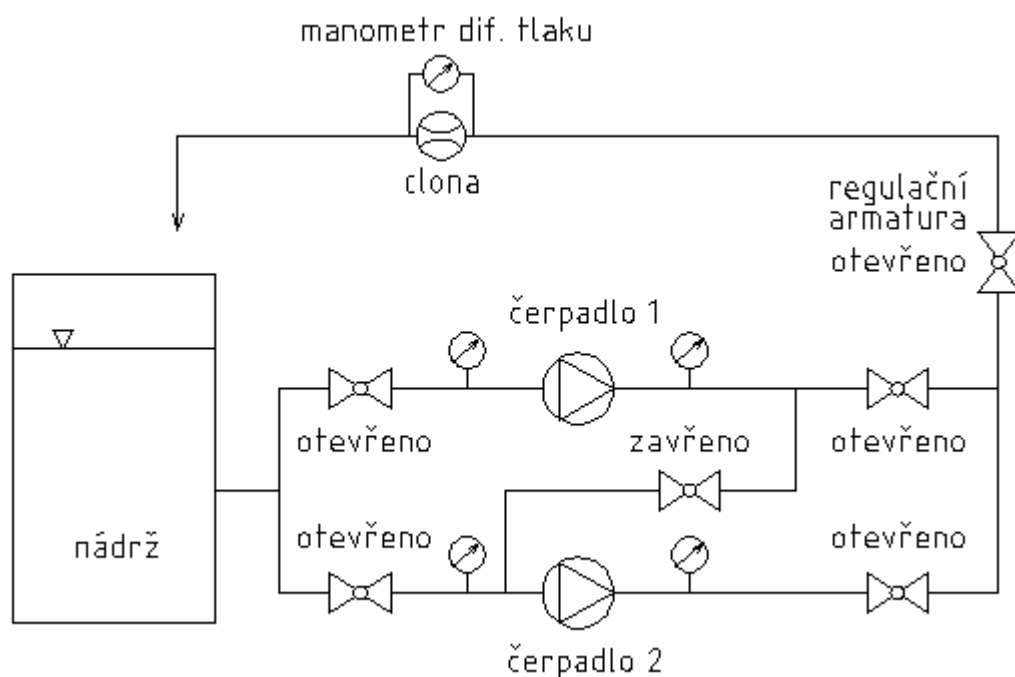
1.1. Popis měřicí tratě

Měřicí trať se bude skládat z nádrže, sacího a výtlačného potrubí DN 50, regulačních armatur, měřících přístrojů a dvou čerpadel stejných parametrů. Pro měření průtoku použijeme škrticího orgánu - centrické clony, která bude umístěna na společném výtlačném potrubí obou čerpadel. Z naměřených hodnot a následným výpočtem získáme hodnoty průtoku. Pro měření tlaku použijeme manometry, které budou umístěné na sacím a výtlačném potrubí co nejbližší čerpadel. Pomocí diferenčního tlakoměru zjistíme rozdíl tlaku před a za clonou. Měřicí trať bude sloužit k měření paralelního a sériového zapojení čerpadel. Potřebné změny průtoku kapaliny se budou provádět regulační armaturou na společném výtlačném potrubí. Celá měřicí trať tvoří uzavřený systém, bez nutnosti doplňovat kapalinu do nádrže. Konstrukce měřicí tratě je ve výkresové dokumentaci bakalářské práce (příloha A).

Zadané parametry odstředivých radiálních čerpadel SIGMA 20-SVA-1-LM-90 (obr.4.1.) objemový průtok Q : $0,50 \text{ l.s}^{-1}$, měrná energie Y : 108 J.Kg^{-1} , otáčky n : 1450 min^{-1} ; motor: příkon P : 370 W , napětí U : 380 V , proud I : $1,16 \text{ A}$, otáčky n : 1370 min^{-1} .

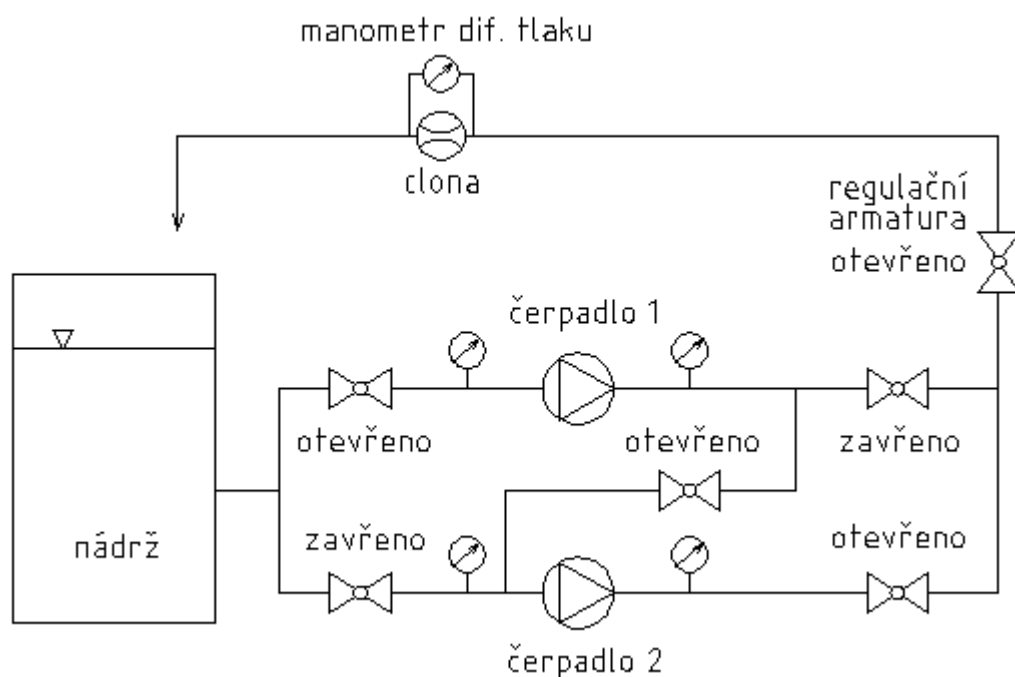
1.2. Zapojení čerpadel v měřicí trati

Při **paralelním zapojení** budou obě čerpadla nasávat vodu z nádrže ze společného sacího potrubí. Přes výtlačná potrubí jednotlivých čerpadel, která se budou spojovat do jednoho uzlu, se bude voda čerpat zpět do nádrže. Stav měřicí tratě při paralelním zapojení před najetím čerpadel je schématicky znázorněno na (obr.1.1.). Regulační kohouty na sacím a výtlačném potrubí obou čerpadel budou otevřené, propojovací potrubí mezi čerpadly bude zavřené.



Obr. 1.1. Schématické znázornění paralelního zapojení čerpadel

Při sériovém zapojení bude první čerpadlo nasávat vodu z nádrže a dopravovat kapalinu do sacího potrubí druhého čerpadla. Přes společné výtlačné potrubí se bude čerpat voda zpět do nádrže. Stav měřící tratě při sériovém zapojení před najetím čerpadel je znázorněno na (obr.1.2.).



Obr. 1.2. Schématické znázornění sériového zapojení čerpadel

2. MĚŘENÍ PRŮTOKU ŠKRTÍCÍMI ORGÁNY

Pro měření průtoku se v energetice nejčastěji používá škrtících orgánů tzv. primárních prvků, mezi které řadíme clony, dýzy, Venturiho trubice a Venturiho dýzy. Princip činnosti spočívá ve zmenšení (seškrcení) průtočného průřezu, následkem čehož dojde ke zvýšení rychlosti jak dokládá rovnice kontinuity (1).

$$S_1 \cdot \rho_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot \rho_2 \cdot v_2 \quad (1)$$

kde S_1 je průřez potrubí

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad [\text{m}^2] \quad (2)$$

kde S_2 je zmenšený průtočný průřez

$$S_2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad [\text{m}^2] \quad (3)$$

Stoupne-li rychlost, naroste kinetická energie a jelikož celkový součet všech energií je konstantní, což popisuje zákon zachování energie pro proudící tekutiny uváděný ve formě Bernoulliho rovnice mezi průřezy 1 a 2 (4), klesne energie tlaková nebo-li dojde ke snížení statického tlaku. Z poklesu statického tlaku lze pak odvodit rychlost proudění a průtok [2].

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} \quad (4)$$

Základní a nejpodstatnější zásady pro návrh a instalaci škrtících orgánů jsou uvedeny v normě ČSN ISO 5167-1: Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku – Část 1: Clony, dýzy a Venturiho trubice vložené do zcela vyplněného potrubí kruhového průřezu v aktuálním znění z roku 1998 .

V této normě jsou uvedeny normativní požadavky na provedení, umístění a instalaci škrtících orgánů, požadavky na provedení odběrů tlaků a rovněž vztahy pro výpočet součinitele průtoku C a trvalé tlakové ztráty [1,2].

2.1. Clony

Nejčastějším provedením škrticího orgánu jsou clony a to zejména dle ČSN ISO 5167 normalizované clony centrické (s kruhovým otvorem v ose potrubí) používané pro měření průtoku širokého spektra pracovních látek [2].

Clona je tenký nerezový kotouč obvykle s kruhovým otvorem a je-li jeho střed v ose potrubí nazývá se taková clona centrickou. Největší předností centrických clon je jejich konstrukční jednoduchost a jednoznačné definování normou ISO 5167-1, kterými jsou předurčeny k nejširšímu využití ve všech oblastech měření průtoku. Centrická clona je v potrubí vsazena v přírubovém spoji a lze ji umístit jak vodorovně tak svisle [3].

Centrické clony mohou být s bodovými odběry tlaku, s komorovými odběry tlaku, s přírubovými odběry tlaku, nebo s odběry tlaku ve vzdálenosti D a $D/2$.

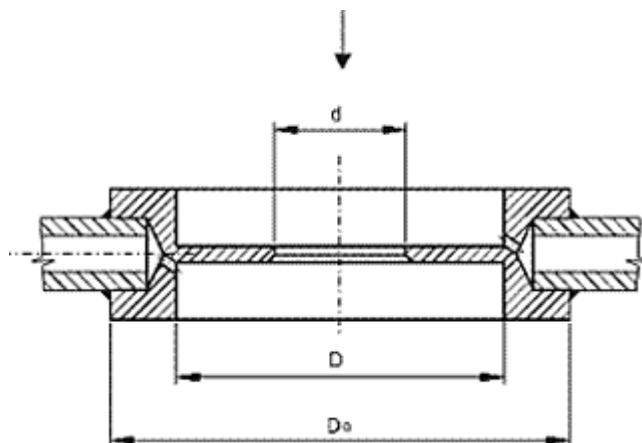
S bodovým odběrem tlakové difference [3]

Bodová clona (obr.2.1.) se vyrábí v rozsahu jmenovitých světlostí od DN 15 až DN 1000 pro teploty a tlaky od PN 2,5 až do PN 250 (pro tyto tlaky lze použít také dýzu). Tento typ clony má obrubu z jednoho kusu a kotouč je opracován přímo v tělese clony. Odběry tvoří jednotlivé (bodové) otvory před a za clonovým kotoučem (obr.2.2.).



Obr. 2.1. Centrická clona s bodovými odběry tlakové difference [3]

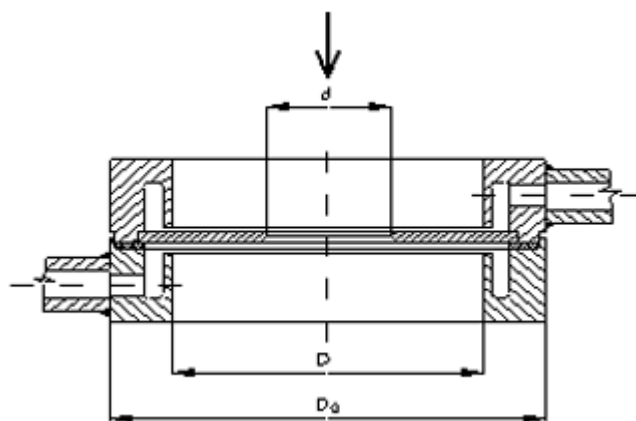
Použití bodové clony je vhodné na měřících místech s vyšším provozním tlakem a teplotou. Vzhledem k tomu, že je tato clona nerozebíratelná má menší pravděpodobnost ke vzniku netěsností. Kotouč bodové clony nelze vyměnit. Obvyklá stavební šířka clon s bodovým odběrem je 40 mm. Pracovní poloha průtokoměru může být vodorovná i svislá. Standardně používaný materiál pro výrobu bodové clony je 15 128, 17 248, 17 348. Bodovou clonu lze po dohodě vyrobit ze speciálních materiálů na bázi slitin niklu a titanu popř. tantalu.



Obr. 2.2. Centrická clona s bodovými odběry [3]

S komorovým odběrem tlakové difference [3]

Clona s komorovými odběry (obr.2.3.) se vyrábí v rozsahu jmenovitých světlostí od DN 15 až DN 1000 pro jmenovité tlaky od PN 2,5 do PN 100. Použití komorové clony pro vyšší tlaky není vzhledem ke konstrukčnímu provedení clony doporučováno.



Obr. 2.3. Centrická clona s komorovými odběry [3]

Hlavními částmi komorové clony je dvoudílná obruba s prstencovou komorou a clonový kotouč. Clonový kotouč je sevřen mezi dvěma díly obruby a utěsněn těsněním. Z obrub je vyveden odběr diferenčního tlaku.

Clonový kotouč je vyměnitelný. Pracovní poloha průtokoměru může být vodorovná i svislá. Obvyklá stavební šířka clony s komorovým odběrem je 60 mm.

S přírubovým odběrem tlakové difference

Odběry diferenčního tlaku jsou integrovány přímo v těle příruby proto není nutné dodávat samostatné obruby clony nebo odvrtávat odběry tlaku do stěny potrubí (obr.2.4.). Přírubové odběry jsou ve vzdálenosti 25,4 mm před (měřeno od přední strany clonového kotouče) a 25,4 mm za škrťacím orgánem (měřeno od zadní strany clonového kotouče) [3].



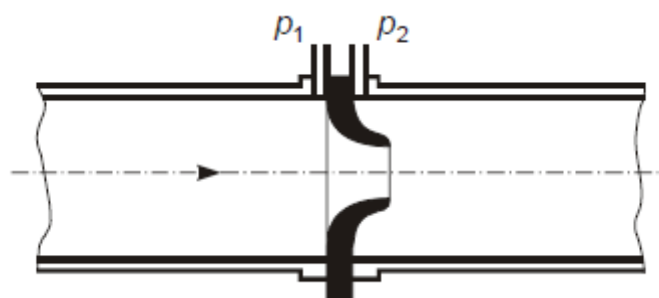
Obr. 2.4. Clony s přírubovými odběry [3]

S odběrem tlaku ve vzdálenosti D a $D/2$

Odběry tlaku jsou ve stěně potrubí ve vzdálenosti D před a $D/2$ za clonovým kotoučem. Přičemž obě vzdálenosti jsou měřeny od přední strany clonového kotouče.

2.2. Dýzy

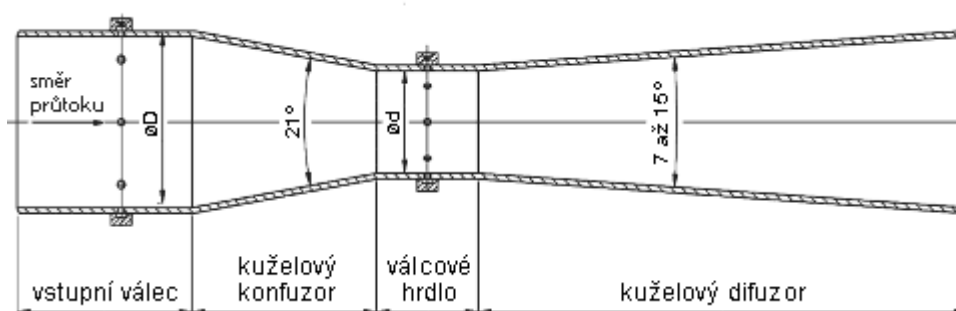
Dýzy jsou speciální měřiče průtoku, které vzhledem ke své konstrukci lépe odolávají dlouhodobému namáhání vysokými teplotami a tlakem (vysokotlaká pára, napájecí voda). Vhodnost využití dýz je zejména na vysokotlaké straně kotelních systémů a rozvodů. Konstrukčně existují dva typy normovaných dýz - dýza ISA 1932 (obr.2.5.) a dýza s dlouhým poloměrem. Dýza je do potrubního řádu ve většině případů vevařena svarovými spoji nebo je vsazena mezi příruby [3].



Obr. 2.5. Dýza [10]

2.3. Venturiho trubice

Venturiho trubice se skládá ze vstupního válce (s odběrem diferenčního tlaku), z kuželového konfuzoru s celkovým úhlem 21° , z válcového hrdla (s odběrem diferenčního tlaku). Délka válcového hrdla je shodná s průměrem d . Výstupní kuželový difuzor má celkový úhel v rozmezí od 7 do 15° (obr.2.6.). Výhodou Venturiho trubice jsou požadované kratší přímé délky potrubí oproti clonám a dýzám [3].

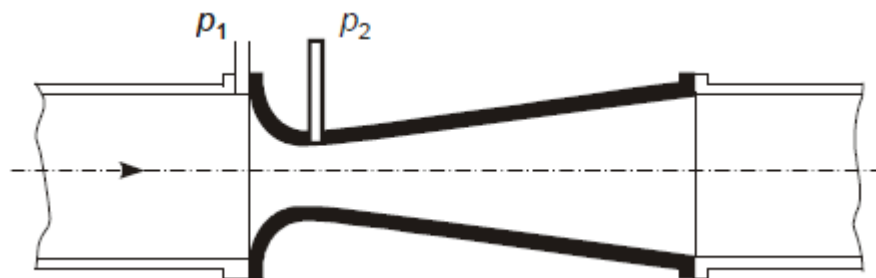


Obr. 2.6. Venturiho trubice [3]

2.4. Venturiho dýzy

Venturiho dýza (obr.2.7.) je tvarově řešena jako kombinace dýzy ISA 1932 a Venturiho trubice. Náběhová část Venturiho dýzy je totožná s oblým vstupem dýzy ISA 1932 a ten ústí do válcového hrdla zakončeného kuželovým difuzorem obdobně jako u Venturiho trubice. Difuzor ovlivňuje pouze velikost trvalé tlakové ztráty Venturiho dýzou vyvozené, vrcholový úhel difuzoru je menší nebo roven 30° . Mají menší rozsahy

měřených průtoků než clony. Tvar Venturiho dýzy omezuje možnost víření, proto mají nejmenší tlakové ztráty ze všech primárních prvků [3].



Obr. 2.7. Venturiho dýza [10]

3. MĚŘENÍ TLAKU DEFORMAČNÍMI PŘÍSTROJI

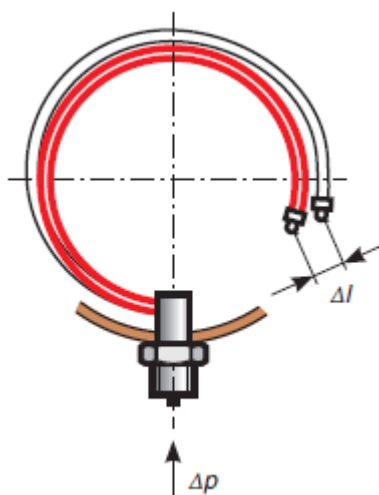
Přístroje pro měření tlaku se obecně nazývají tlakoměry. Současně se však označení tlakoměr (manometr) používá pro přístroj k měření přetlaku. Přístroje k měření podtlaku se označují jako vakuometry a přístroje k měření rozdílu tlaků jako rozdílové diferenční tlakoměry.

Deformační tlakoměry patří mezi nejčastěji používané snímače tlaku. Využívají pružné deformace tlakoměrného prvku vlivem působení měřeného tlaku. Nejčastěji používanými deformačními prvky jsou Bourdonova trubice, membrána, krabice a vlnovec. Deformační prvky se zhotovují z uhlíkových a niklových ocelí, z mosazi, z fosforového a beryliového bronzu a dalších vhodných slitin.

Mezi výhody patří jednoduchost a spolehlivost provozu. Nedostatkem deformačních tlakoměrů je elastické dopružování a popř. trvalé deformace měřícího prvku během provozu [13].

3.1. Trubicové tlakoměry

Trubicové tlakoměry jsou nejpoužívanějším typem deformačních tlakoměrů. Tlakoměrným prvkem je tzv. Bourdonova trubice, která se zhotovuje nejčastěji z mosazi nebo (pro vyšší tlaky) z oceli. Bourdonova trubice je většinou oválného nebo eliptického průřezu stočená do spirály (obr. 3.1.) [13].



Obr. 3.1. Princip měření trubicového tlakoměru [13]

Jeden konec je spojen se vstupem tlaku a druhý uzavřen a spojen přes převodové ústrojí s ukazatelem na stupnici. Při působení tlaku má trubice tendenci se narovnávat a tento její pohyb se přenáší převodem na ručičku ukazující tlak. [13]. Pro navrženou měřící trať budu používat trubicové tlakoměry. (obr.3.2.)

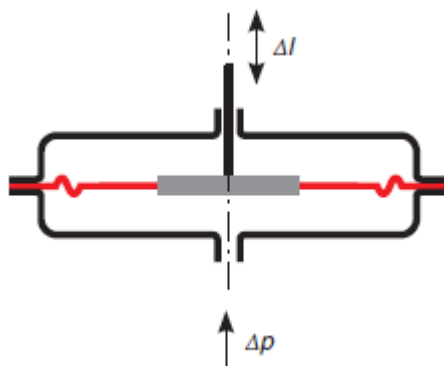


Obr. 3.2. Trubicový tlakoměr [9,12]

3.2. Membránové tlakoměry

Membránové tlakoměry používají jako tlakoměrný prvek kovovou membránu kruhového tvaru zvlněnou soustředěnými kruhy. Membrána je sevřena mezi dvěma

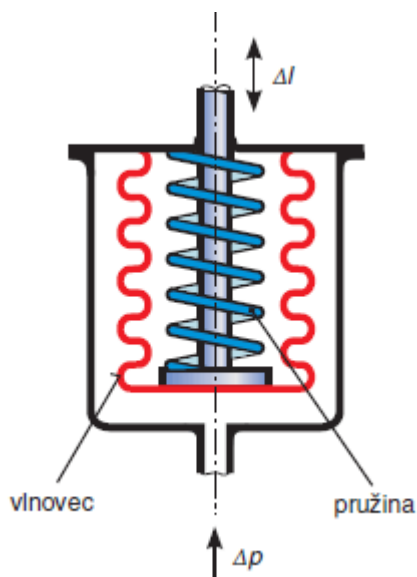
přírubami a z jedné strany je přiváděn měřený tlak. Ten vyvolá průhyb membrány, který se přenáší na ukazovatel (obr. 3.3.). Závislost zdvihu na tlaku je přibližně lineární. Jejich výhodou je větší citlivost než citlivost trubicových tlakoměrů. Je-li tlak přiveden na obě strany membrány, lze využít membránové tlakoměry i k měření rozdílu tlaků. Proti korozi lze membránu snadno chránit povlakem či fólií vhodného materiálu. Membránové tlakoměry jsou vhodné pro měření i poměrně rychle pulsujících tlaků [13].



Obr. 3.3. Princip měření membránového tlakoměru [13]

3.3. Vlnovcové tlakoměry

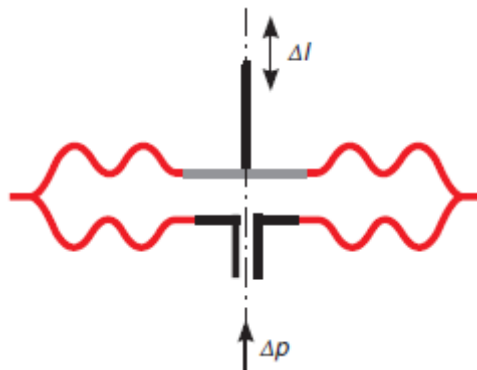
Tlakoměrným prvkem je tenkostěnný kovový měch – vlnovec, který je umístěn v pouzdru, do něhož je přiváděn měřený tlak. Deformace vlnovce Δl se táhlem přenáší na ukazovatel. Odolnost proti deformaci (tuhost vlnovce) lze snadno zvětšit vložením pružiny; upraví se tak charakteristika a měřicí rozsah tlakoměru (obr. 3.4.). Vlnovcové tlakoměry se používají pro měření malých tlaků a rozdílů tlaků do asi 0,4 Mpa [13].



Obr. 3.4. Princip měření vlnovcového tlakoměru [13]

3.4. Krabicové tlakoměry

Měřícím prvkem je krabice tvořená dvěma zvlněnými membránami o průměru 50 až 100 mm. Deformace se přenáší pákovým převodem na ukazovatel. Krabicové tlakoměry se používají pro měření malých přetlaků, podtlaků či rozdílu tlaků (obr. 3.5.) [13].



Obr. 3.5. Princip měření krabicového tlakoměru [13]

4. HYDRODYNAMICKÁ ČERPADLA

Hydrodynamická čerpadla jsou založena na nepřímém přenosu energie. Energie mechanická (elektromotoru) přiváděná na hřídel čerpadla je v oběžném kole přeměněna na energii kinetickou. Tato energie je pak v difuzoru (spirální skříni) nebo rozvaděči transformována na energii tlakovou (hydraulickou).

Z difuzoru nebo rozvaděče odchází kapalina s nezbytnou rychlostí a s převažující energií tlakovou do potrubního systému. Tato dvojitá přeměna má za následek snížení celkové účinnosti hydrodynamických čerpadel v porovnání s čerpadly hydrostatickými. Tato kapalina u hydrodynamických čerpadel protéká spojitě v nepřetržitém proudu. Čerpadla pracují s větším počtem otáček, mají proto menší rozměry i hmotnost a jsou proto i cenově výhodnější, zvládají i velké průtoky.

Charakteristickým prvkem hydrodynamického čerpadla jsou rotující kanály ohraničené lopatkami a disky oběžného kola. Proudění v těchto kanálech je popsáno rozšířenou Bernoulliho rovnicí (5).

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot h_1 - \frac{u_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot h_2 - \frac{u_2^2}{2} + g \cdot h_z \quad (5)$$

kde p je tlak, ρ je hustota kapaliny, v je relativní rychlost v rotujícím kanále vzhledem ke stěně kanálu, u je obvodová neboli unášivá rychlost v místě rotujícího kanálu a h_z je ztrátová výška při průtoku oběžným kolem. Index 1 platí pro sání a index 2 pro výtlač oběžného kola [4,6].

Hydrodynamická čerpadla dělíme na:

a) lopatková

které dělíme podle směru proudění kapaliny v kanálech oběžného kola na tři skupiny:

- čerpadlo radiální neboli odstředivé – kapalina do oběžného kola tohoto čerpadla vstupuje axiálně (rovnoběžně s osou čerpadla) a vystupuje z oběžného kola radiálně (kolmo na osu rotace),
- čerpadlo diagonální – kapalina vstupuje do oběžného kola axiálně a vystupuje diagonálně (šikmo k ose rotace)
- čerpadla axiální neboli vrtulová - kapalina vstupuje a vystupuje z oběžného kola čerpadla axiálně.

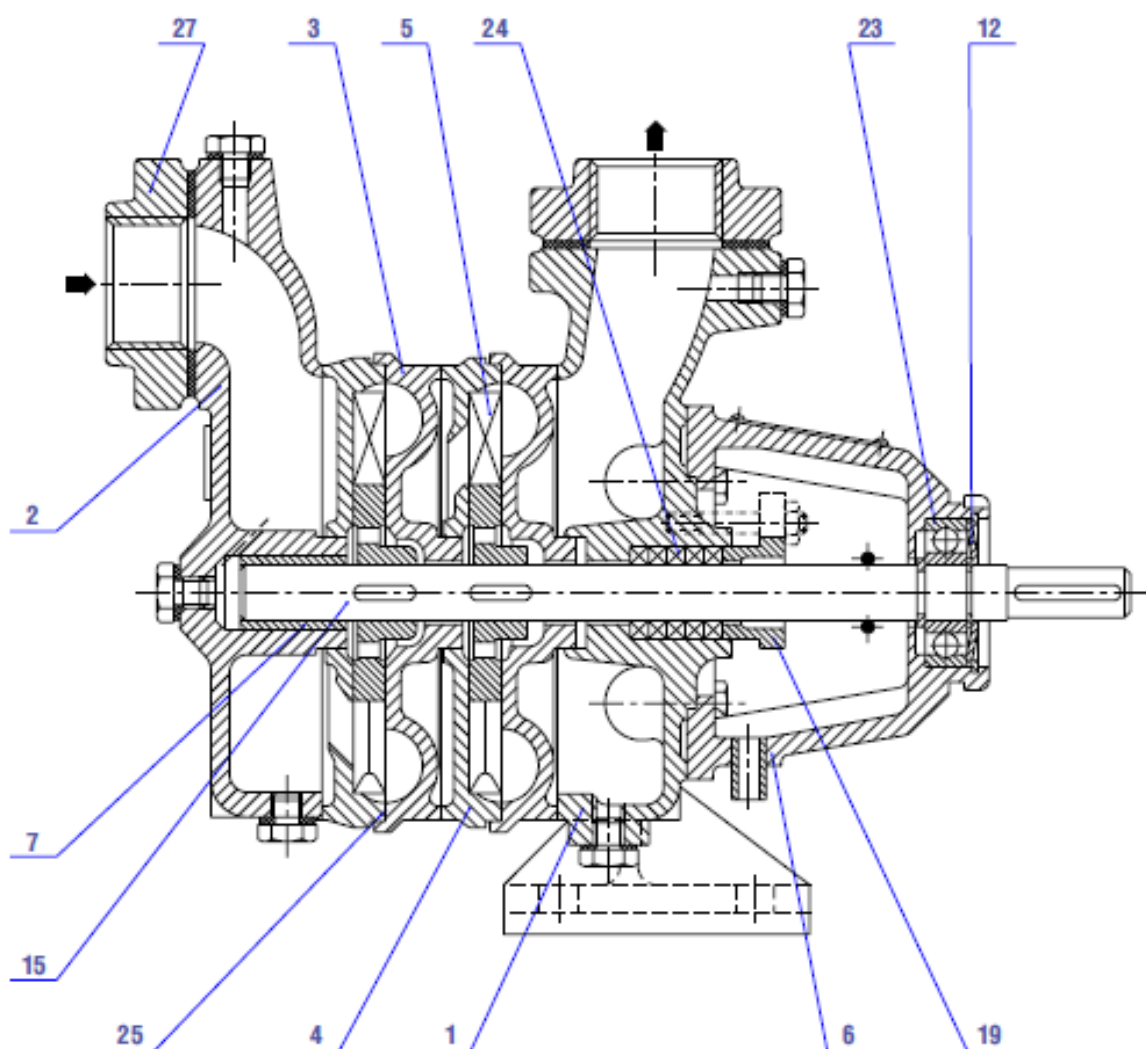
b) proudová neboli injektory [4]

4.1. Čerpadlo radiální



Obr. 4.1. Čerpadlo pro měřicí trať SIGMA 20-SVA-1-LM-90 [7]

Čerpadlo se skládá ze sacího a výtlačného tělesa, sací a výtlačné vložky, tělesa ložiska, víka ucpávky, hřídele s oběžnými koly a ložiska. Hrdlo sacího tělesa je umístěno nad osou čerpadla tak, aby čerpadlo bylo stále zaplněno čerpanou kapalinou. Sací těleso je opatřeno nalévací a vypouštěcí zátkou. Výtlačné hrdlo je uspořádáno ve výtlačném tělese vertikálně. Mezi sacím a výtlačným tělesem jsou vloženy sací a výtlačné vložky s oběžnými koly podle požadovaného tlaku. Tyto vložky jsou mezi sacím a výtlačným tělesem staženy šrouby. Hřídel čerpadla je uložen na sací straně v kluzném pouzdru (ložisku), které je chlazeno čerpanou kapalinou a na straně výtlaku v kuličkovém ložisku. Hřídel je utěsněn měkkým provazcovým těsněním, které je dotlačováno víkem ucpávky pomocí dvou šroubů (obr.4.2.) [8].



1 - výtlačné těleso, 2 - sací těleso, 3 - výtlačná vložka, 4 - sací vložka, 5 - oběžné kolo
6 - těleso ložiska, 7 - pouzdro, 12 - víčko, 15 - hřídel, 19 - ucpávkové víko, 23 - ložisko
24 - ucpávkové těsnění, 25 - těsnění, 27 - příruba

Obr. 4.2. Řez radiálním čerpadlem SVA s měkkou ucpávkou [8]

5. CHARAKTERISTIKA ČERPADLA

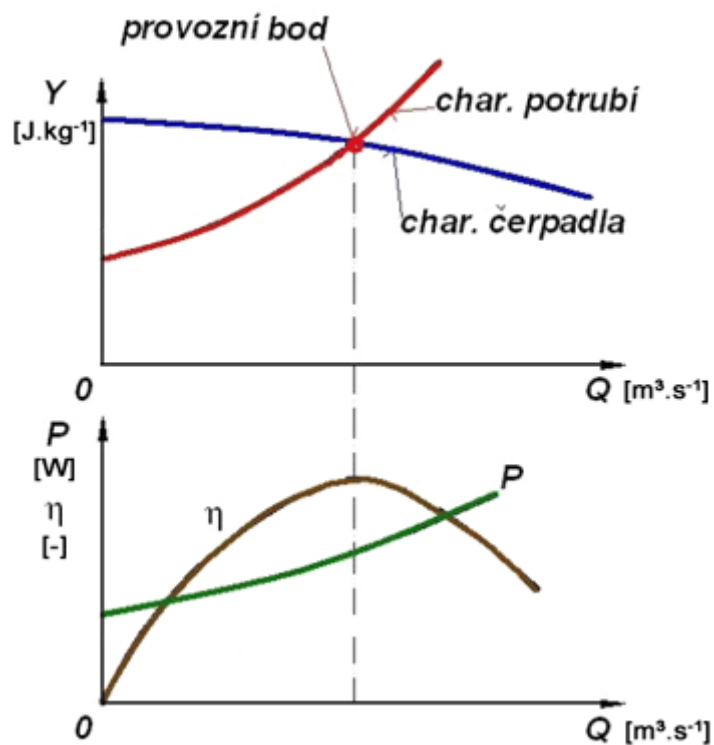
Základní energetickou charakteristikou čerpadla je křivka, jež vyjadřuje závislost měrné energie Y (nebo dopravní výšky čerpadla H) na objemovém průtoku Q . Mezi měrnou energií a dopravní výškou platí vztah (5)

$$Y = g \cdot H \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (5)$$

Skutečná charakteristika odstředivého čerpadla (hydrodynamického) se stanoví zpravidla měřením na zkušebně výrobního závodu. Charakteristika bývá doplněna křivkou příkonu P a celkové účinnosti η na objemovém průtoku Q . Když se do grafu charakteristiky čerpadla nakreslí i charakteristika potrubí, což je parabola, získá se průtok dodávaný čerpadlem v provozním bodě i velikosti ostatních veličin čerpadla – Y , P , η . Správně zvolené čerpadlo by mělo dosahovat maximální účinnosti v okolí pracovního bodu (obr.5.1.).

Veškerá energie, kterou čerpadlo dodá kapalině, je v pracovním bodě využita na dopravu kapaliny a pokrytí ztrát potrubí, systém je tak ve stabilním stavu. Měrná energie čerpadla a potrubí je v pracovním bodě identická.

Pokud je měrná energie čerpadla a potrubí identická, je čerpací systém v rovnováze a průtok je v čase konstantní. Pokud je měrná energie čerpadla větší než měrná energie potrubí, znamená to, že čerpadlo dodává více energie než je v potrubí zmařeno. Systém tak není v rovnováze a přebytečná energie je využita na zrychlení kapaliny. Kapalina bude zrychlovat tak dlouho, až bude dosaženo nového rovnovážného stavu. Pokud je naopak měrná energie čerpadla menší než měrná energie potrubí, čerpadlo nedodává dostatek energie a kapalina bude zpomalovat opět do dosažení rovnovážného stavu [4,6].



Obr. 5.1. Charakteristika odstředivého čerpadla [4]

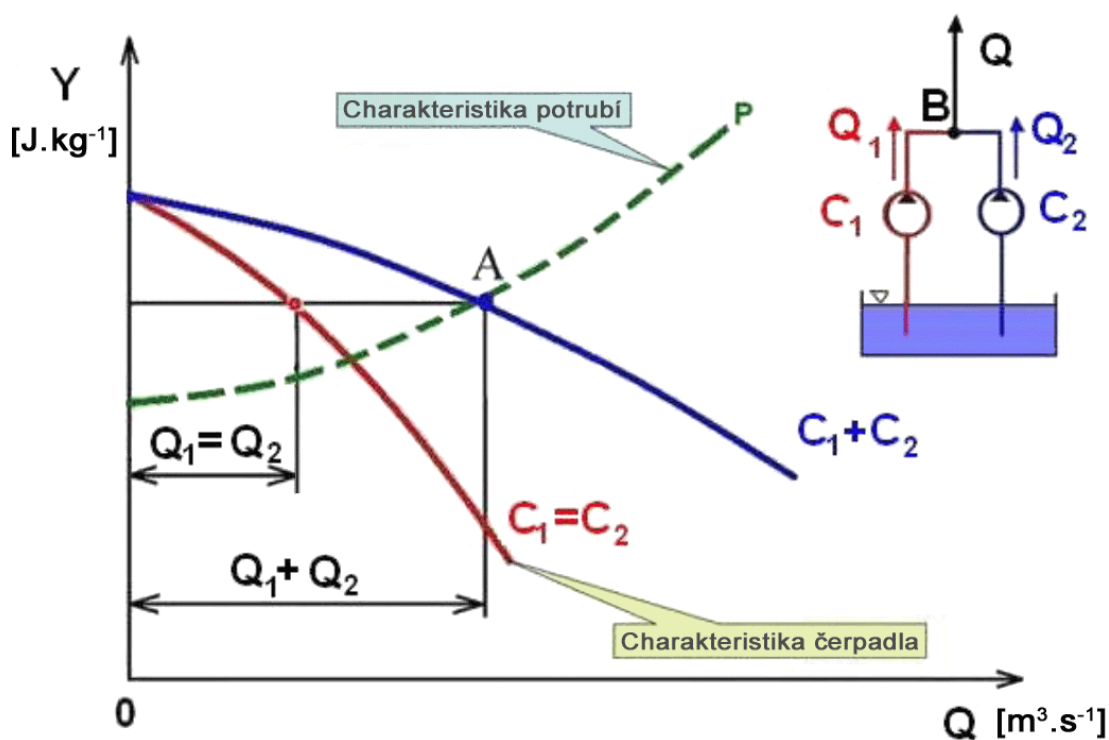
5.1. Charakteristika paralelní spolupráce čerpadel

Při paralelním řazení čerpadel jsou výtlačná hrdla jednotlivých čerpadel spojena v jednom uzlu. Také sací potrubí může být pouze jedno a z uzlu se může potrubí dále větvit k jednotlivým čerpadlům. Při paralelním řazení čerpadel je měrná energie všech čerpadel stejná (6). Čerpadla se navzájem ovlivňují, takže i průtoky jsou různé a jejich součet udává celkový průtok při paralelním řazení čerpadel (7) [6].

Prakticky se dají paralelně řadit odstředivá čerpadla s rozdílnou charakteristikou, nejčastěji jsou však řazena paralelně čerpadla s charakteristikou stejnou. Výsledná charakteristika se získá tak, že se sečtou jednotlivé charakteristiky podle průtoku (obr.5.2.) [4].

$$Y_p = Y_1 = Y_2 \quad [\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1}] \quad (6)$$

$$Q_p = Q_1 + Q_2 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (7)$$



Obr. 5.2. Paralelní řazení dvou čerpadel se stejnou charakteristikou [4]

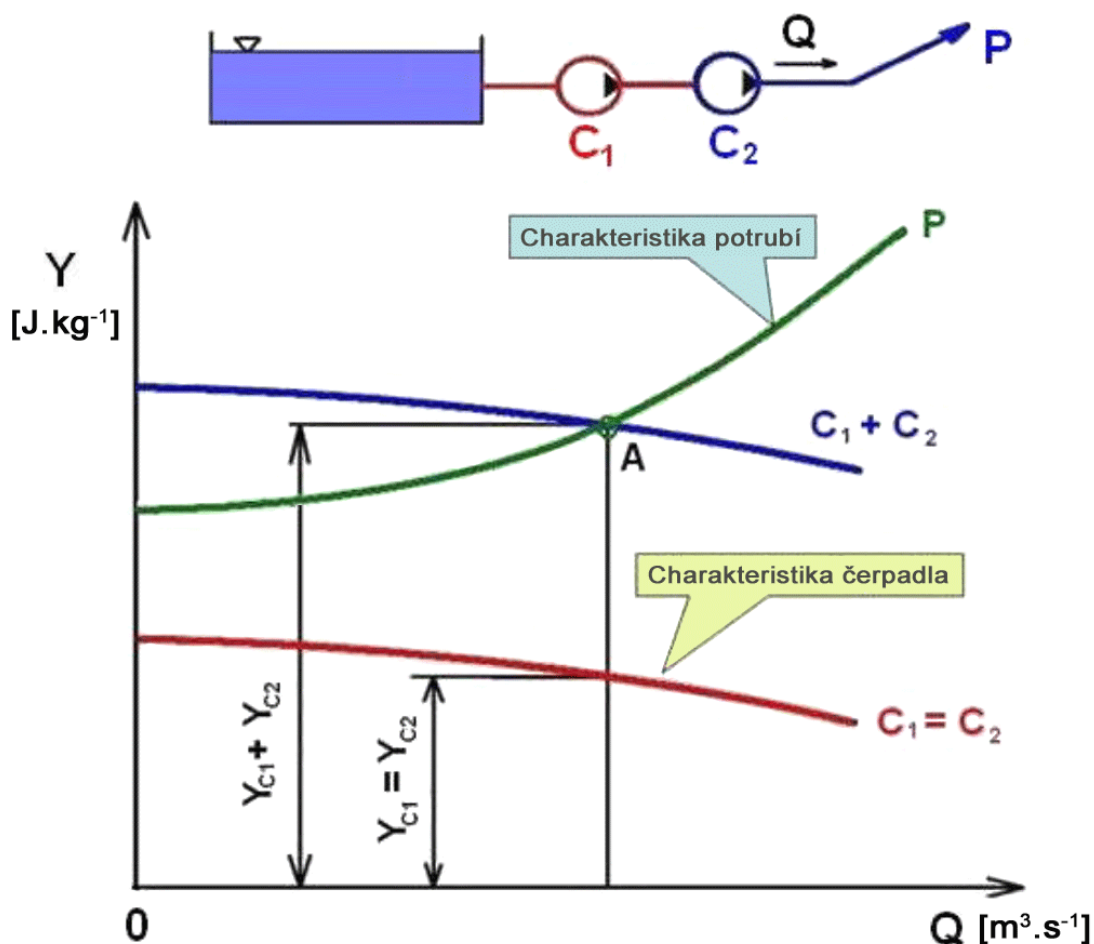
5.2. Charakteristika sériové spolupráce čerpadel

Kapalina z výtlačného hrdla prvního čerpadla je přivedena na sací hrdlo druhého čerpadla, tomuto zapojení se říká sériové řazení. Při sériovém řazení čerpadel je průtok všemi čerpadly identický (8) a měrné energie jednotlivých čerpadel se sčítají (9) [6].

I zde platí, že se dají sériově řadit čerpadla s rozdílnou charakteristikou, nejčastěji se však řadí čerpadla s charakteristikou stejnou (obr.5.3.) [4].

$$Q_s = Q_1 = Q_2 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (8)$$

$$Y_s = Y_1 + Y_2 \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (9)$$



Obr. 5.3. Sériové řazení dvou čerpadel se stejnou charakteristikou [4]

6. NAVRŽENÍ CLONOVÉ TRATĚ

6.1. Navržení clonového kotouče pro měřicí trať

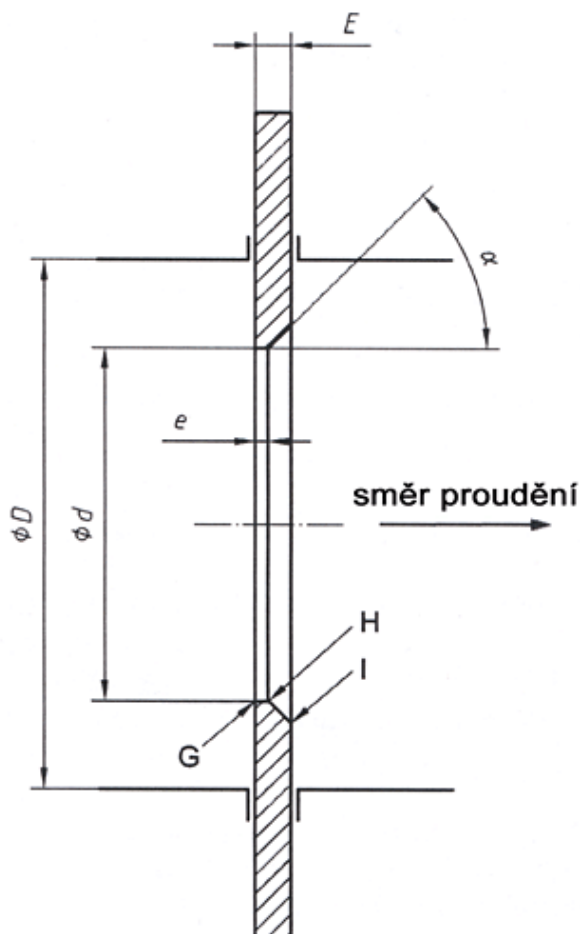
Pro výpočet clony vycházíme z předem zadaných parametru průtoku samostatného čerpadla $Q = 0,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Průměr potrubí volíme DN 50. Maximální průtok měřicí tratě zvolíme jako paralelní řazení čerpadel (dvojnásobek zadaného průtoku jednoho čerpadla $0,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ plus tlakové ztráty), tzn. $1,2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$.

Výpočet clonového kotouče pro potrubí $D = 50 \text{ mm}$ provedeme dle ČSN EN ISO 5167-2. Vnitřní průměr d musí být větší nebo roven $12,5 \text{ mm}$. Poměr průměru β (10) škrťacího orgánu d a vnitřního průměru potrubí D musí být větší nebo roven $0,10$ a menší nebo roven $0,75$.

$$\beta = \frac{d}{D} \quad [-] \quad (10)$$

Čím menší vnitřní průměr clonového kotouče zvolíme, tím přesnější měření budeme mít, ale zároveň omezíme průtok v potrubí. Naopak čím větší vnitřní průměr zvolíme, tím méně přesné bude měření, ale zároveň neomezíme průtok v potrubí. Zvolíme $\beta = 0,6$ a středně velký vnitřní průměr $d = 30$ mm.

Tloušťka e (obr.6.1.) otvoru clony se volí v rozmezí $0,005D$ a $0,02D$ a tloušťka E v rozmezí e a $0,05D$. Volím $e = 0,5$ mm a $E = 2$ mm. Úhel zkosení α musí být $45^\circ \pm 15^\circ$. Přední hrana G musí mít úhel $90^\circ \pm 03^\circ$ musí být ostrá a nesmí obsahovat otřepy ani hroty. Na zadní hrany H a I jsou požadavky méně přísné. Přední strana, s drsností $Ra < 10^{-4} \cdot d$, a zadní strana clonového kotouče musí být vzájemně rovnoběžné. Clonový kotouč může být vyroben z jakéhokoliv materiálu, musí ale splňovat předepsané parametry.



Obr. 6.1. Normalizovaný clonový kotouč [13]

6.2. Výpočet objemového průtoku

Pro výpočet skutečného objemového průtoku Q škrtícím orgánem o průměru d vycházíme ze vztahu:

$$Q = C \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (11)$$

kde Δp je diferenční tlak:

$$\Delta p = p_1 - p_2 \quad [\text{Pa}] \quad (12)$$

kde p_1 je tlak před clonou a p_2 je tlak za clonou

Kde C je součinitel průtoku který zohledňuje vlastnosti neideální tekutiny a materiálu škrtícího orgánu. Skutečný průtok tekutiny je menší, než je vypočtený teoretický hmotnostní průtok. Součinitel průtoku C v sobě zahrnuje poměr průměru škrtícího orgánu a vnitřního průměru potrubí, Reynoldsovo číslo Re_D vztažené k D a vzdálenosti odběru tlaku od clonového kotouče. Součinitel průtoku C určíme dle normy ČSN EN ISO 5167-2 Reader-Harris/Gallagherovou rovnicí [2].

Kde ε je expanzní součinitel. Při průtoku plynů a par škrtícím orgánem nastává expanze a dochází ke změně hustoty média. Tato skutečnost je respektována zavedením expanzního součinitele ε , který závisí na hodnotě izentropického exponentu κ (Poissonova konstanta), na diferenčním tlaku, na statickém tlaku před měřidlem, na poměru zúžení a typu měřidla. Pro kapaliny, které jsou nestlačitelné je expanzní součinitel $\varepsilon = 1$ [11].

6.3. Požadavky na zabudování clony

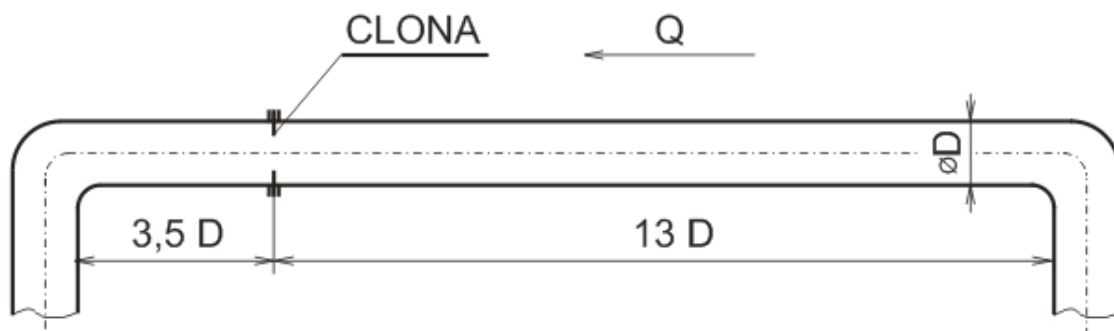
Z důvodu snadné montáže použijeme clony s bodovým odběrem diferenčního tlaku. Odběry jsou vytvořené jedním otvorem před a druhým za clonovým kotoučem (obr.2.2.). Pro potrubí DN 50 a poměr průměru $\beta = 0,6$ volíme dle normy ČSN EN ISO 5167-2 průměr bodového odběru 1,5 mm. Odběry musí být kruhové a jsou stejné pro přední i zadní odběr tlaku.

Při montáži clony do měřící tratě musíme zachovat požadované minimální délky přímého potrubí před a za clonou. Pro zadané potrubí DN 50 určíme minimální rovné

úseky potrubí v závislosti na použitých tvarovkách na měřící trati, poměru průměrů $\beta = 0,6$ a přídavné nejistoty součinitele průtoku C kterou určíme ze vztahu (13):

$$\text{pro } 0,2 \leq \beta \leq 0,6 \quad \text{nejistota hodnoty } C \equiv 0,5\% \quad (13)$$

Dle ČSN EN ISO 5167-2 určíme z tabulky doporučené minimální rovné úseky před clonou $13D$ a za clonou $3,5D$ (obr.6.2.). Z důvodu větší přesnosti měření a dostatku místa v místnosti G 315, volím delší rovné úseky měřící tratě před a za clonou, než jsou požadované minimální délky. V příloze bakalářské práce je výkresová dokumentace s rozměry měřící tratě s čerpadly (příloha A).



Obr. 6.2. Požadované minimální přímé délky potrubí

7. VYTVOŘENÍ ENERGETICKÝCH CHARAKTERISTIK

7.1. Výpočet energetických veličin

Mezi rozhodující energetické charakteristiky čerpadel, které získáme díky měření, patří křivka měrné energie Y , účinnosti η a příkonu P v závislosti na objemovém průtoku Q .

Měrná energie Y je energie dodaná kapalině čerpadlem, která se skládá z kinetické energie, tlakové, potencionální a energie spojené s překonáním hydraulických ztrát (14).

$$Y = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + \frac{p_v - p_s}{\rho} + g \cdot h_g + g \cdot h_z \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (14)$$

V měřicí trati je sací i výtlačné potrubí stejného průměru, tzn. že rychlosti jsou stejné a proto první člen rovnice (14) kinetická energie se rovná nule. Třetí člen rovnice, potencionální energie se také bude rovnat nule, z důvodu nulové geodetické výšky (vyčerpaná kapalina putuje zpět do sací nádrže). Poslední člen rovnice, hydraulické ztráty zanedbáme. Dostaneme výslednou rovnici (15).

$$Y = \frac{p_v - p_s}{\rho} + g \cdot y \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (15)$$

kde p_s tlak naměřený na sacím potrubí [Pa]
 p_v tlak naměřený na výtlačném potrubí [Pa]
 ρ hustotu vody v závislosti na teplotě vody (změříme teploměrem v nádrži) zjistíme z tabulek [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
 y výškový rozdíl mezi manometry [m]

Účinnost η vypočteme ze vztahu:

$$\eta = \frac{Q \cdot \rho \cdot \left[\frac{p_v - p_s}{\rho} + g \cdot y \right]}{P} \quad [-] \quad (16)$$

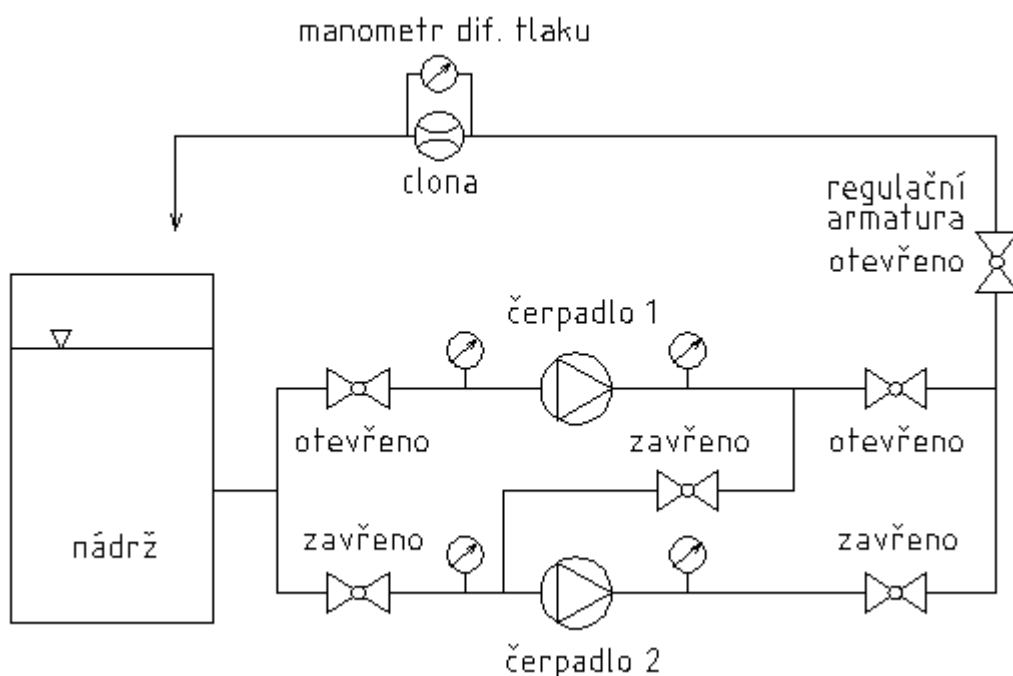
kde P je příkon elektromotoru čerpadla, který změříme wattmetrem [W]

7.2. Vytváření charakteristik samostatného čerpadla

Než začneme vytvářet charakteristiky paralelního a sériového zapojení čerpadel, provedeme měření samostatně zapojeného čerpadla. Výslednou charakteristiku měrné energie samostatně zapojeného čerpadla potom použijeme při porovnávání paralelního a sériového zapojení.

POSTUP MĚŘENÍ:

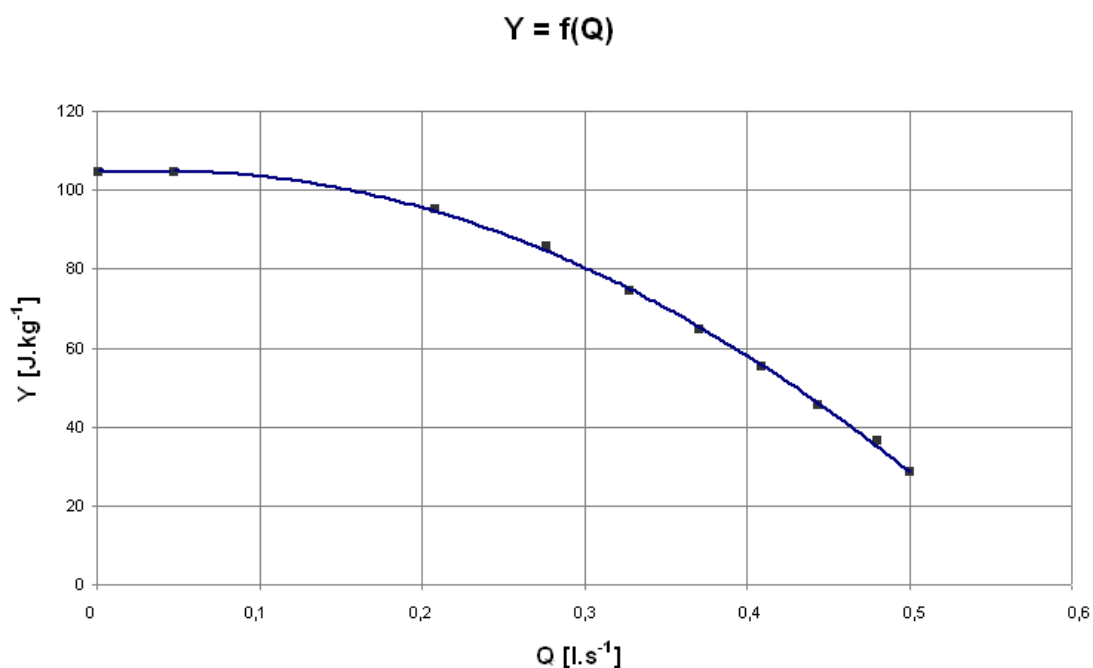
- Před měřením požadovaných veličin pro samostatně zapojené čerpadlo, zkontrolujeme si stav měřicí tratě. Nádrž musí být naplněná vodou, kulové kohouty na sání i výtlačenosti čerpadla 1 otevřené. Propojovací kohout mezi čerpadly a kulové kohouty na sání i výtlačenosti čerpadla 2 zavřené (obr.7.1.).



Obr. 7.1. Schéma zapojení pro samostatné čerpadlo

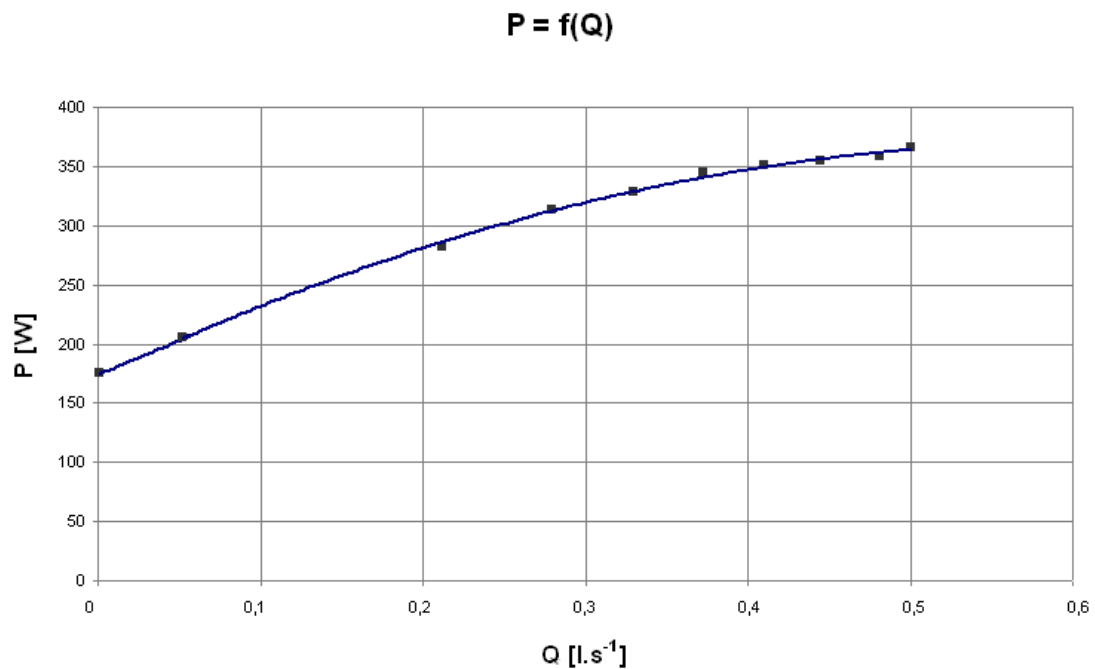
- Zapneme čerpadlo 1 do otevřeného výtlačného potrubí.
- Odečteme z vakuometru podtlak na sání p_s a z manometru tlak na výtlačném potrubí čerpadla p_v .
- Z diferenčního tlakoměru zjistíme tlakový rozdíl Δp škrtícího orgánu.
- Příkon čerpadla změříme klešťovým wattmetrem jako svorkový příkon elektromotoru čerpadla. Je to výkon přenesený elektromotorem na hřídel čerpadla.
- Získané hodnoty zapíšeme do tabulky.
- Abychom mohli vytvořit graf vzájemné závislosti požadovaných veličin, potřebujeme získat hodnoty při různých průtocích kapaliny. Toho dosáhneme škrcením regulační armatury na společném výtlačenosti (vytvoříme odpor v potrubí).

- Při každém seškrcení armatury, když bude průtok ustálený nebo se jen pomalu měnit v závislosti na čase, odečteme požadované hodnoty.
- Měření opakujeme až do úplného uzavření regulační armatury.
- Ze získaných hodnot vypočteme objemový průtok podle rovnice (11) a měrnou energii (15).
- Z vypočtených hodnot měrné energie a objemového průtoku vytvoříme v programu např. Excel pomocí regresní křivky graf vzájemné závislosti těchto dvou veličin (obr.7.2.). Z grafu vyplývá, že čerpadlo s postupným škrcením armatury na výtlačku snižuje dopravované množství kapaliny a zároveň stoupá měrná energie čerpadla.



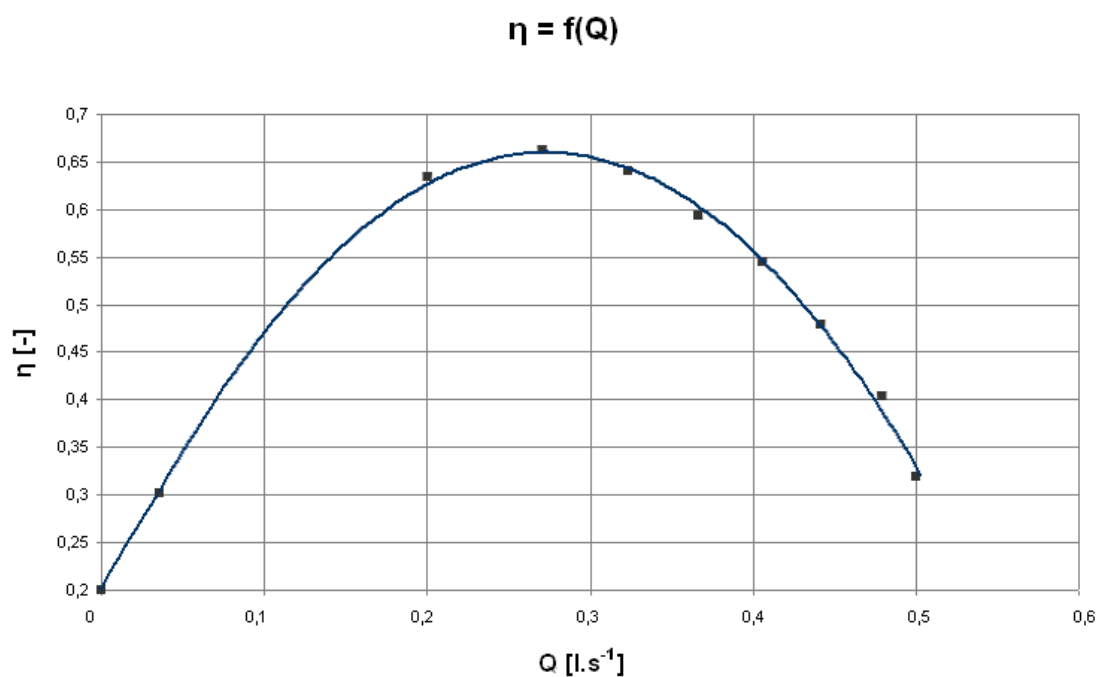
Obr. 7.2. Charakteristika Y v závislosti na Q

- Z naměřeného příkonu a vypočteného objemového průtoku vytvoříme graf vzájemné závislosti (obr.7.3.). Při najetí čerpadla do otevřeného výtlačku je příkon nejvyšší. S klesajícím objemovým průtokem klesá také příkon elektromotoru čerpadla.



Obr. 7.3. Charakteristika P v závislosti na Q

- Účinnost vypočteme ze vztahu (16) a s objemovým průtokem vznikne v grafu další vzájemná závislost (obr.7.4.). Dojdeme k závěru, že účinnost čerpadla roste po parabole až do maximálních hodnot, přibližně v polovině svého výkonu.

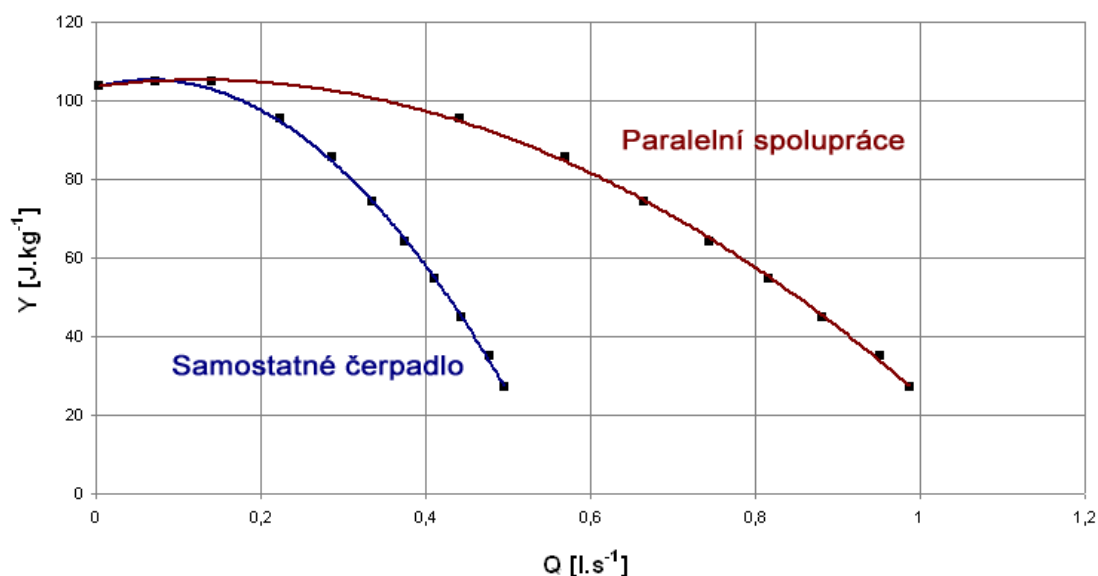


Obr. 7.4. Charakteristika η v závislosti na Q

7.3. Vytváření charakteristik paralelní spolupráce

Čerpadla zapojíme podle schématického znázornění paralelní spolupráce (obr.1.1.). Najedeme obě čerpadla do otevřených výtlaků. Následný postup měření pro paralelní zapojení čerpadel je stejný jako při měření samostatného čerpadla.

Z vypočtených hodnot měrné energie a objemového průtoku vytvoříme v Excelu pomocí regresní křivky graf vzájemné závislosti těchto veličin (obr.7.5.). Z charakteristiky paralelního zapojení dvou stejných čerpadel lze vyčíst, že při stejné měrné energii zdvojnásobíme dopravované množství tekutiny oproti provozu samostatného čerpadla.



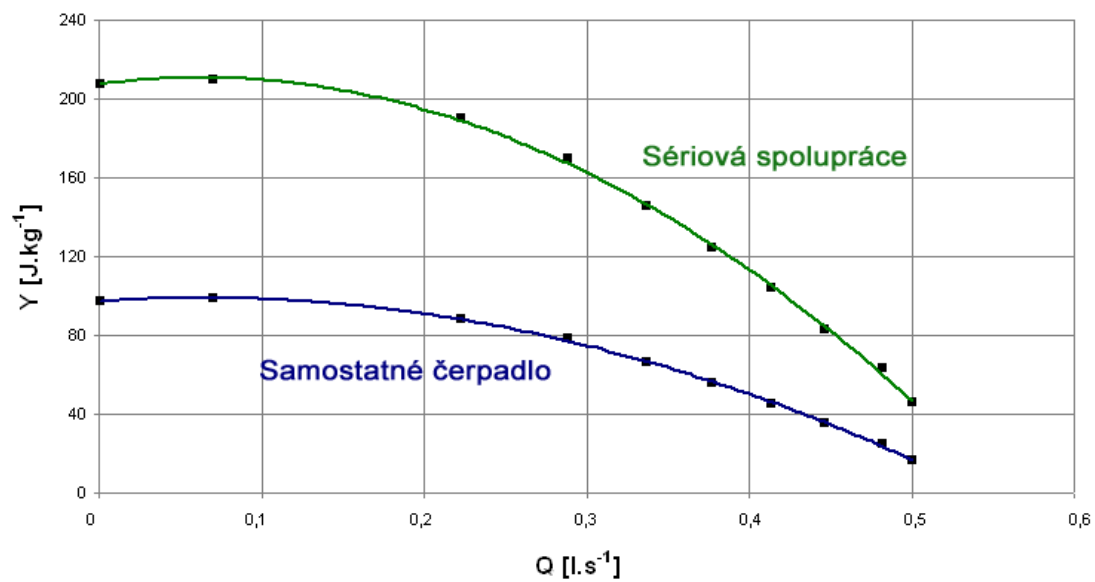
Obr. 7.5. Charakteristika paralelního zapojení čerpadel

7.4. Vytváření charakteristik sériové spolupráce

Než začneme měřit energetické charakteristiky pro sériové zapojení čerpadel, zkontrolujeme si stav měřicí tratě a zapojíme čerpadla podle schématického znázornění (obr.1.2.). Po najetí společných čerpadel do otevřeného výtlaku, volíme stejný postup měření jako při paralelním zapojení čerpadel.

Ze získaných hodnot měrné energie a objemového průtoku vytvoříme pomocí regresní křivky charakteristiku sériové spolupráce čerpadel (obr.7.6.).

Z grafu sériového zapojení dvou stejných čerpadel zjistíme, že při stejném dopravovaném množství tekutiny, zdvojnásobí se měrná energie oproti provozu samostatného čerpadla.



Obr. 7.6. Charakteristika sériového zapojení čerpadel

8. ZÁVĚR

V této bakalářské práci navrhuji měřicí trať pro provoz v paralelním a sériovém zapojení čerpadel v místnosti G315. Pro výpočet průtoku použiji škrtícího orgánu - centrické clony. Na základě zadaných parametrů čerpadel a zvoleného průměru potrubí, navrhuji clonový kotouč, způsob odběru diferenčního tlaku clony a délky rovných úseku před a za clonou. Z důvodu větší přesnosti měření a dostatku místa v místnosti G 315, volím delší rovné úseky měřicí tratě před a za clonou, než jsou požadované minimální délky potrubí. Sestava měřicí tratě je v příloze bakalářské práce.

Ve své práci podrobně popisuji způsob vytváření rozhodujících energetických charakteristik čerpadel a zabývám se problematikou paralelního a sériového zapojení čerpadel. Charakteristika čerpadla je jeden z rozhodujících dokumentu, ve kterém výrobce stanovuje závislost měrné energie (dopravní výšky) na dopravovaném množství kapaliny. Podle těchto parametrů se následně rozhodujeme při nákupu čerpadla.

Z charakteristiky paralelního zapojení dvou stejných čerpadel lze vyčíst, že při stejné měrné energii zdvojnásobíme dopravované množství tekutiny oproti provozu samostatného čerpadla. Naopak při sériovém zapojení dvou stejných čerpadel, zůstává dopravované množství tekutiny stejné a zdvojnásobí se měrná energie oproti provozu samostatného čerpadla.

9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] JARKOVSKÝ, E. *Základy praktického výpočtu clon, dýz a trubic Venturiho*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1958. 324 s.
- [2] KOČIŠ, Š.; STÁŇA, M. ; VILIMEC, L. *Provoz a regulace energetických zařízení : (skripta, návody do cvičení)*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. 224s.
- [3] *Mattech.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05-07]. Mattech. Dostupné z WWW: <<http://www.mattech.cz/>>.
- [4] JANALÍK, J. *Hydrodynamika a hydrodynamické stroje*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008. 189 s.
- [5] JANALÍK, J. ; ŠTÁVA, P. *Mechanika tekutin*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 123 s.
- [6] BLEJCHAŘ, T.; DRÁBKOVÁ, S . *Čerpací technika a potrubí : návody do cvičení*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010. 76 s.
- [7] *Hbcpumpy.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05-07]. HBC Pumpy. Dostupné z WWW: <<http://www.hbcpumpy.cz/sva-cerpadla-sigma-32-sva-2-lm-90-solo/289>>.
- [8] *Aqua-trend.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05-07]. Aqua trend. Dostupné z WWW: <http://www.aqua-trend.cz/files/SVA_CZ.PDF>.
- [9] *Quido.cz/mereni* [online]. 2011 [cit. 2011-05-07]. Guido. Dostupné z WWW: <<http://www.quido.cz/mereni/tlak.htm>>.
- [10] *Vscht.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05-07]. VŠCHT Praha. Dostupné z WWW: <http://eso.vscht.cz/cache_data/1386/www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/machacj/do/cs/C1.pdf>.
- [11] *Uprt.vscht.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05-07]. Ústav počítačové a řídicí techniky. Dostupné z WWW: <<http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k45-prut.htm>>.
- [12] *Ingstuksa.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-04-26]. Manometry. Dostupné z WWW: <<http://www.ingstuksa.cz/product/manometr-04-bar-m1215-63mm-3704/>>.
- [13] *Vscht.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05-07]. VŠCHT Praha. Dostupné z WWW: <http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/MT_INaRP/Tlak1_au020728.pdf>.
- [14] *Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu - Část 2: Clony : ČSN EN ISO 5167-2*. Praha : Český normalizační institut, 2003. 52 s.

10. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Výkresová dokumentace - sestava měřicí tratě

Příloha B Výkresová dokumentace - seznam položek